键盘操作中腕托对肌肉疲劳影响的定量化研究

陈登凯　刘天宇　陈　婧

（西北工业大学陕西省工业设计工程实验室　西安　710072）



陈登凯　男　1975年生，副教授，主要研究方向为工业设计。



刘天宇　男　1994年生，硕士研究生，主要研究方向为人机工效学。

摘要：通过研究用户在使用普通键盘进行文本输入时前肢及背部的三块肌肉的表面肌电信号（sEMG），探讨腕托缓解肌肉疲劳的实际效用，为改进腕托以及键入姿势提供更加符合人体工效学的理论依据。实验共测试 10 名被试者在不使用腕托以及使用三种不同材质腕托的状态下前肢及背部肌肉的表面肌肉信号，并对所得数据进行标准化处理，再使用统计分析软件 SPSS 对标准化后的数据（NsEMG）进行数据分析。结果表明背部上斜方肌（UT）为键盘操作过程中最易产生疲劳的肌肉，且其肌肉疲劳与腕托的材质使用与否并无关系，而使用布料腕托时指浅屈股（FDS）标准肌电值出现显著差异（$P < 0.05$）。

关键词：表面肌电　键盘腕托　数据标准化　肌肉疲劳

中图分类号：TB18

A Quantitative Study About How the Wrist Rest Affect Muscle Fatigue During Keyboard Operation

Chen Dengkai　Liu Tianyu　Chen Jing

(Shanxi Engineering Laboratory for Industrial Design

Northwestern Polytechnical University　Xi'an　710072　China)

Abstract: In this paper, the value of the wrist supports is studied exactly in reducing muscular fatigue through researching surface electromyogram signal (sEMG) on three forearm muscles and one back muscle during the computer keying task. The sEMG is measured and collated from 10 test recipients in four different conditions in the experiment. After normalizing the sEMG data (NsEMG), SPSS 20 is used to analyze the NsEMG. The conclusion of the study is that upper trapezius (UT) is easiest muscle to fatigue while in the keyboard task and its degree of tiring does nothing to do with the wrist supports. But there is a remarkable difference in using the clothing wrist supports reflected by flexor digitorum superficialis (FDS) ($P < 0.05$).

Keywords: Surface electromyography, keyboard wrist rest, data normalization, muscle fatigue

西北工业大学研究生创意创新种子基金项目资助。

1 引言

随着计算机的推广与普及，使用计算机的时间增加，越来越多的使用者会产生肌肉不适，长此以往甚至会患上一些肌肉骨骼相关疾病。导致这些肌肉不适症状最主要的原因是使用者进行工作时是处于一种静态的状态，但是肌肉长时间处于紧张状态，就是肌肉的静态施力，而造成操作者不同肌群的静态施力的根本原因就是使用者长时间“不自然”的作业姿势，这种“不自然”作业姿势通常会在工作者不知情的情况下持续很长一段时间。长时间使用这些“不自然”的作业姿势最终会给操作者带来生理上的疲劳与疾患。因此，现代计算机办公作业者（如程序员、文职人员）容易产生骨骼肌肉的不适并且有较高的几率患相关骨骼肌肉疾病 [1]。键盘作为使用计算机过程中必备的工具，也是用户使用计算机工作的主要工具，与用户的健康息息相关。长时间以非正常的作业姿势使用键盘会使得工作者的前肢、肩膀患病的几率极大提高 [2-3]。因此，计算机键盘的使用舒适性和劳动损伤研究是十分必要的。

近年来，国内外关于计算机键盘的舒适性和疲劳损伤研究主要包括两个方面：键盘造型对工作舒适性和疲劳损伤程度的影响以及研究前肢肌肉电信号与肌肉负荷的关系 [4]。

国内研究着重于键盘的设计，文献 [5] 在检测不同键盘和不同打字速度对键盘输入过程中前臂的肌肉负荷时发现工效键盘能够降低肌肉负荷，提高主观舒适性；文献 [6] 研究键盘参数设计与工作舒适性关系，并且重新布局键位，设计出全新的符合人机工效学的办公键盘；而文献 [7] 则分析标准键盘在使用时引起身体疲劳的因素，从键盘的整体布局、外观设计等方面提出具体建议，以提高键盘操作舒适性；文献 [8] 则改进了平板式工作台中的键盘操作板，增加工作者作业时的舒适性和便捷性。

表面肌肉电信号（surface Electromyographic Signal，sEMG）的测量主要使用生理多导仪进行，其原理是通过电极引导神经肌肉系统活动时所产生的生物电信号，将其记录于仪器中，再通过软件反馈于计算机中。这些生物电信号与肌肉的活动状态之间存在一定的联系，它能反映肌肉的活动，因此 sEMG 信号的测量与分析在工效学设计与评价、肌肉功能测试和运动医学研究等领域均具有重要的应用价值。关于键盘作业时肌肉劳损的研究，文献 [9] 通过问卷调查以及计算机仿真方法，发现军事领域内的连续键盘输入作业十分容易发生肌肉劳损，从而导致作业者骨骼肌肉系统损伤；文献 [10-11] 研究发现使用高度可调的家具支持前肢将减少肌肉的负荷，相较于椅子扶手，前臂放置于工作面上能降低肌肉的活动；文献 [12-13] 通过实验验证对于使用计算机工作的用户，前臂支撑会影响用户的骨骼肌肉不适度，并且通过实验发现腕托与前臂支撑结合对于肌肉的影响并不大，可能没有影响；文献 [14] 研究发现前臂支撑和腕托均能减少肌肉的 sEMG 信号，但是前两种支撑方式影响的肌肉群并不相同，前臂支撑会影响更多的肌肉群；文献 [15] 则针对特定人群（中老年妇女），分析女性自身特点，通过特有肌肉的肌肉信号测量，研究使用键盘的姿势（角度）对肌肉信号的影响；文献 [16] 研究发现作业者使用不同的姿势进行作业时肌肉疲劳度不同，并且手臂的弯曲角度对肌肉疲劳度也有一定的影响；而文献 [17] 则从肌肉受力的角度进行分析，通过物理力矩分析等方法分析不同姿势下的肌肉受力，并与肌肉信号图进行对比，以此研究肌肉的负荷程度；文献 [18] 从工作重复度的角度出发，研究发现不是所有的人机工效键盘都能有效减少肌肉劳损，只有当它降低运动重复度到一定程度后才有使用价值。

从以上研究可以看出，目前关于计算机键盘的舒适性研究主要集中在前肢支撑方面，部分研究表明腕托能够影响肌肉的疲劳度，但是关于腕托具体哪些因素影响肌肉活跃度并没有太多研究。本文从腕托的材料角度出发设计实验，进行后续研究。

2 实验

2.1 研究对象

实验共选取 10 名被试者，男女各 5 名，年龄为（23.2±0.8）岁，身高为（170.1±4.5）cm，体重为（60.9±7.8）kg。10 名被试者均为右手惯用者且能够熟练地使用键盘进行文本输入作业。经调研，所有被试者均无手臂以及背部肌肉骨骼疾病，且均未使用过腕托。在参与实验前，被试者需在实验人员的指导下熟悉所使用的讯诺键盘以及具体实验流程和方法，确保正式实验时不会出错，所有被试者自愿参与实验。

2.2 实验仪器

实验使用的是美国 BIOPAC 公司生产的 MP150 型 16 通道生理多导仪，配合以 ACK 软件分析 MP150 系统记录的生理信号；讯诺键盘（不含腕

托）；可调节高度的办公座椅；三种不同材料的腕托（木头，硅胶，布质，也称为手托）；握力器。

2.3 实验准备

实验前，每位被试者需将座椅调节到自身最舒适的位置，固定并记录键盘位置，每位被试者保证手臂处于最舒适位置，在实验过程中键盘的位置是不变的。

（1）测试肌肉的选取。根据文献 [16] 选取右手的指浅屈肌（FDS）、尺侧腕屈肌（FCU）和上斜方肌（UT）进行肌电信号的采集。

（2）测试电极的贴放。被试者肌肉发力找到肌肉中心点位置，在中心点两端约 5cm 的地方为点极的正负两极，接地极位于距离肌肉最近的骨骼上；找到三个主要位置后，先用脱毛器去除附近皮肤表面的汗毛组织，再用医用酒精擦拭受皮肤表面，去除黏附在皮肤表面的油污，待皮肤干燥后，用打磨纸轻轻打磨皮肤表面，去除皮肤表面坏死的角质层 [19]，之后再贴点极。

2.4 实验内容

（1）在正式实验开始前，需要测量三组肌肉最大伸缩（MVC）时的 sEMG 信号，要求为：被试者在 5s 内单手（右手）握住握力器持续发力直到肌肉最大发力时再缓缓放松，休息 10s 后进行下一组，每次测试的姿势均相同，每位被试者取三次 sEMG 信号中的最大峰值为 MVC 值，此值主要用于肌电信号数据的标准化。

（2）休息 1min 后，测量被试者在不作业状态下的 sEMG 信号 1min，作为对比基准。

（3）被试者以规定的姿势在讯诺键盘上进行文本输入，需要保证一定的正确率并以最快的打字速度进行文本输入。每位被试者需要进行四组实验，实验状态分别是：①无腕托；②布料腕托；③木头腕托；④硅胶腕托。各单项实验时间为 10min，采集右手三块肌肉（FDS、FCU、UT）的表面肌电信号，分别在开始后每隔 1min 采集一次实验数据，采集时间为 1min，单次实验共采集 4 次数据。

（4）单次实验后休息 5min[20] 进行下一个状态的实验。每次实验文本都进行保存，用于字数的检验以及准确度的检验。

（5）每次实验开始前被试者都需要对身体的各个部分进行舒适度评价（主观量表），分值从 0 到 10 代表无不舒适感到不舒适感十分强烈，单次实验后进行对比舒适度评价。

3　数据处理

得到原始表面肌电信号数据后，通过 ACK 软件处理原始数据，得到一系列非负 sEMG 值。此时的 sEMG 是未经过标准化的数据，通过数据标准化（Normalization）可使得实验结果更准确。标准化公式为

$$NsEMG = \frac{sEMG_{observed} sEMG_{rest}}{sEMG_{mvc} sEMG_{rest}} \times 100\%$$

式中，NsEMG 为标准化表面肌电信号（Normalized sEMG）。标准化数据的优势在于能够体现被试者的肌肉疲劳程度 [21]。

4　实验结果

4.1 肌电 EMG 结果

使用 SPSS 软件对处于不同状态下（无手托，布料、木头、硅胶手托）的肌肉的 NsEMG 值进行单因素方差分析，检验水平为显著性小于 0.05。

在方差齐性检测时，数据的显著性水平均大于 0.05，表明方差齐性，可进行方差分析。三块肌肉的显著性水平（F 检验结果）分别为：FDS：$F_{(3,36)} = 4.207$；FCU：$F_{(3,36)} = 0.893$；UT：$F_{(3,36)} = 0.202$； 因此对于肌肉 FDS，显著性水平 $P \leqslant 0.05$，推翻虚无假设，支持备择假设：不同状态下的肌肉 FDS 肌电信号有显著差异。其他两块肌肉 FCU、UT 则不存在显著差异。比较肌肉 FDS 的组间差异，见下表。

表　肌肉 FDS 的组间差异

Tab.　Muscle FDS differences between groups

因变数	(*I*)	(*J*)	平均值差异（*I*–*J*）	显著性
FDS	1	2	7.009 00*	0.001
		3	3.749 21	0.070
		4	2.550 62	0.212
	2	1	−7.009 00*	0.001
		3	−3.259 79	0.113
		4	−4.458 38*	0.033
	3	1	−3.749 21	0.070
		2	3.259 79	0.113
		4	−1.198 59	0.554
	4	1	−2.550 62	0.212
		2	4.458 38*	0.033
		3	1.198 59	0.554

注：表中序号 1 ～ 4 分别代表无腕托、布料腕托、木头腕托、硅胶腕托。“ * ”数据表示其显著性小于 0.05，表示此因素与其他因素具有显著差异。

上表中，无腕托情况下和使用布料腕托（$P=0.001<0.05$）有显著差异，在平均值差异栏中可以看出，无腕托的 NsEMG 值比布料腕托高，可见不使用腕托进行文本输入会比使用布料腕托肌肉更疲劳；而无腕托相对使用木头腕托（$P=0.070>0.05$）和硅胶材质（$P=0.212>0.05$）则不存在显著差异，说明并不是所有的腕托都能减少指浅屈肌肌电值；使用布料腕托与硅胶腕托（$P=0.033<0.05$），说明存在显著差异，硅胶腕托在减少肌肉 FDS 疲劳度方面效果最差。

由图 1 可知，使用布料腕托，三块肌肉的 NsEMG 值都比较低，可见此时的肌肉疲劳度最低，不使用腕托的状态下，肌肉 FDS 和 FCU 的肌电值会较高，肌肉 UT 的肌电值则相差不大，但比其余两块肌肉的值均高。

均值图与显著性差异表对比可知，布料腕托能减少肌肉 FDS 的 NsEMG 值，对于另外两块肌肉并不存在显著差异。而使用木头、硅胶腕托和无手托状态无显著差异，但使用布料腕托与硅胶腕托有显著差异。

由图 1 可知，在进行键盘文本输入时，最容易疲劳的肌肉是 UT，且不同状态下的肌肉肌电值变化并不大，而肌肉 FCU 在使用手托和不使用手托的状态下会有比较明显的差异，使用手托能够在一定程度上减轻 FCU 的疲劳度，而对于肌肉 FDS，使用不同的手托也会引起不同的肌肉疲劳度。

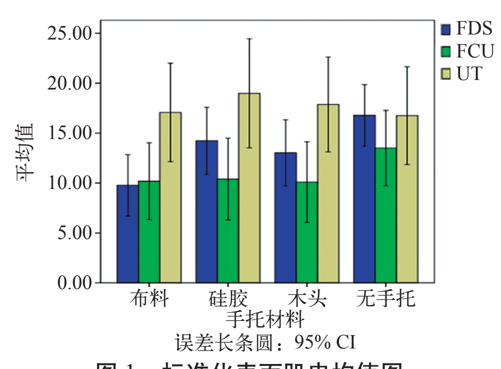


图 1　标准化表面肌电均值图

Fig.1　Normalized surface EMG mean

4.2 主观量表结果

运用 SPSS 软件，处理并分析主观量表数据，得右大臂 $F_{(3,36)}=4.134$，$P=0.13$；右小臂 $F_{(3,36)}=2.923$，$P=0.47$；上背部 $F_{(3,36)}=3.600$，$P=0.23$，存在显著差异。这表明不同情况下，被试者从主观角度出发，这三个身体部分会体会到变化，从主观量表的均值图中可以看出被试者普遍认为无手托状态下，在进行键入任务后，身体整体更疲劳，而使用布料腕托后，整体疲劳度则最小，与 sEMG 数据结论相吻合。

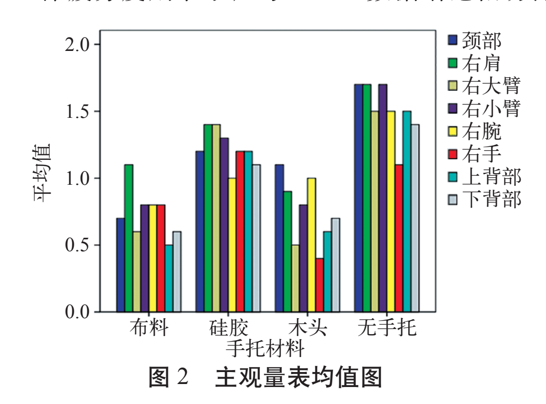


图 2　主观量表均值图

Fig.2　Subjective scale mean

5　实验分析

被试者在使用腕托的情况下，其肌肉 FCU 的肌电值较低，可能是由于无手托状态下，被试者在进行文本操作时，手腕会存在一个角度，这个角度造成了手腕并不是处于“常态”而造成它的肌电值增加，如文献 [16] 中表示手肘的角度会造成肌肉疲劳度不同，那么手腕的角度也会影响手臂肌肉的疲劳度，换言之，手腕的高度会影响肌电值，与文献 [11] 结论相似。而实验结果表明布料材料能够比较明显地降低 FDS 的肌电值，且与硅胶材料的腕托存在明显差异，这可能是由于布料相较于硅胶较软，它能够较好地使手臂处于一个较为舒适的状态，因此能够降低肌肉的 sEMG 值，另外一种分析是从高度的角度出发，由于布料材料软，它支撑手腕的实际高度会比原高度要低，这个高度可能更适合手腕支持，因此布料材料能够缓解肌肉疲劳。

6　结束语

在连续键盘键入作业实验的基础上，综合主观量表的结果，得到以下结论：

（1）在使用键盘进行文本输入的操作中，背部肌肉 UT 为最易疲劳的肌肉，且背部肌肉疲劳并不会受到使用手托的影响。

（2）并不是所有的腕托都能够减少手臂的疲劳，布料材料的腕托能够较大程度上减少肌肉疲劳，而其他两种材料的腕托效果不明显。

（3）手腕所处高度，以及使用材料的软硬度可能是影响手臂疲劳度的两个方面。

基于以上实验结果，建议长时间使用键盘键入作业的人员使用布料手托支撑腕部，能够在一定程

度上缓解疲劳，降低相关骨骼肌肉疾病发生的概率。关于键盘使用的后续研究可以从支持手腕的高度以及支持材料的软硬度方面着手。

参考文献

[1] Derango K, Amick B, Robertson M, et al. The productivity consequences of two ergonomic interventions[J]. Ssrn Electronic Journal, 2003.

[2] Aarås A, Horgen G, Bjørset H H, et al. Musculoskeletal, visual and psychosocial stress in VDU operators before and after multidisciplinary ergonomic interventions[J]. Applied Ergonomics, 1998, 29(5): 335-354.

[3] Grooten W J, Mulder M, Wiktorin C. The effect of ergonomic intervention on neck/shoulder and low back pain[J]. Work, 2007, 28(4): 313-323.

[4] Amell T K, Kumar S. Cumulative trauma disorders and keyboarding work[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2000, 25(1): 69-78.

[5] 朱伟，张智君．不同键盘、输入速度的 sEMG、绩效及舒适性比较 [J]．人类工效学，2010，16(3)：1-4．
Zhu Wei, Zhang Zhijun. Comparison of Surface EMG performance and subjective comfort while using different typing speed operating on different keyboards[J]. Chinese Journal of Ergonomics, 2010, 16(3): 1-4.

[6] 楚杰．保健型人机键盘的参数优化与工效学设计 [J]．人类工效学，2009，15(3)：29-33．
Chu jie. Optimization and ergonomics design of human-computer keyboard[J]. Chinese Journal of Ergonomics, 2009, 15(3): 29-33.

[7] 张晓凡，张鹏．一种降低手臂疲劳的计算机键盘的设计 [J]．包装工程，2012(18)：64-67．
Zhang Xiaofan, Zhang Peng. A design on computer keyboard to abate the tiredness of human arms[J]. Packaging Engineering, 2012(18): 64-67.

[8] 吴小勇．键盘操作板的人机工程学设计和分析 [J]．人类工效学，1998(1)：58-60．
Wu Xiaoyong. The ergonomics design and analysis of the keyboard control panel[J]. Chinese Journal of Ergonomics, 1998(1): 58-60.

[9] 卫静，李晓军，焦凯，等．连续键盘输入作业疲劳状况研究 [J]．人类工效学，2014，20(5)：18-22．
Wei Jing, Li Xiaojun, Jiao Kai. Exploring the fatigue characters of operators in continuous typing task through keystroke[J]. Chinese Journal of Ergonomics, 2014, 20(5): 18-22.

[10] Delisle A, Larivière C, Plamondon A, et al. Musculoskeletal disorders and computer work: the impact of workstation layout on posture and muscle load of the upper limbs[R]. Technical Report, 2006.

[11] Delisle A, Larivière C, Plamondon A, et al. Comparison of three computer office workstations offering forearm support: impact on upper limb posture and muscle activation[J]. Ergonomics, 2006, 49(2): 139-160.

[12] Cook C, Limerick R B. Forearm support for intensive keyboard users: a field study[J]. Proceedings of Hf, 2002.

[13] Cook C, Burgess-Limerick R, Papalia S. The effect of wrist rests and forearm support during keyboard and mouse use[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2004, 33(5): 463-472.

[14] Hambrusch S, Liu C M, Prabhakar S. Effects of wrist rest and forearm support on muscle activity[J]. Perceptual & Motor Skills, 2006, 103(3): 873.

[15] Kamil N S, Dawal S Z. Effect of postural angle on back muscle activities in aging female workers performing computer tasks[J]. Journal of Physical Therapy Science, 2015, 27(6): 1967-1970.

[16] Nag P K, Pal S, Nag A, et al. Influence of arm and wrist support on forearm and back muscle activity in computer keyboard operation[J]. Applied Ergonomics, 2009, 40(2): 286-291.

[17] Keir P J, Wells R P. The effect of typing posture on wrist extensor muscle loading[J]. Human Factors, 2002, 44(3): 392-403.

[18] Tomatis L, Nakaseko M, Läubli T. Co-activation and maximal EMG activity of forearm muscles during key tapping[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2009, 39(5): 749-755.

[19] 宋海燕，张建国，王珺，等．基于表面肌电的人体背部负重行走肌肉疲劳特性研究 [J]．生物医学工程学杂志，2016(3)：426-430．
Song Haiyan, Zhang Jianguo, Wang Jun, et al. Study on muscle fatigue property of human body in shoulder loaded walking based on surface electromyogram[J]. Journal of Biomedical Engineering, 2016(3): 426-430.

（下转第 44 页）